

573  
K68

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 573.6: 628.353.3: 677.494: 577.3

**КОРОТКИЙ Максим Васильевич**

**МОДИФИЦИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ  
ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ НОСИТЕЛЕЙ БИОМАССЫ  
ДЛЯ АЭРОБНЫХ БИОФИЛЬТРОВ**

03.00.23 – «Биотехнология»

05.17.06 – «Технология переработки полимеров и композитов»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск 2005

Работа выполнена в Институте механики металлополимерных систем  
им. В.А. Белого Национальной Академии наук Беларуси

Научный руководитель: доктор химических наук, профессор  
**А. В. Макаревич**  
БелНИПИнефть РУП  
ПО «Белоруснефть»

Официальные оппоненты доктор технических наук, профессор  
**А. Д. Гуринович**  
УО «Белорусский национальный  
технический университет»

доктор технических наук, профессор,  
**В. А. Струк**  
УО «Гродненский государственный  
университет имени Янки Купалы»

Оппонирующая организация: Институт проблем использования  
природных ресурсов и экологии НАНБ

Защита состоится «16» декабря 2005 г. в 16<sup>00</sup> часов на заседании совета по  
защите диссертаций Д 02.08.04 в УО «Белорусский государственный  
технологический университет» по адресу:

220050, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, зал заседаний Ученого совета, ауд. 240,  
корпус 4.

тел.: 227-63-54 (ученый секретарь), факс: 227-62-17; e-mail: root@bstu.unibel.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке УО «Белорусский  
государственный технологический университет»

Автореферат разослан «15» ноября 2005 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций



О.Я. Толкан

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** В технике биологической очистки промышленных газовых выбросов и сточных вод широко применяют аэробные биофильтры, снабженные неподвижной загрузкой – носителем биомассы, т.е. твердыми материалами, на поверхности которых иммобилизованы (адсорбционно закреплены) микроорганизмы. Работы по биофильтрации в Беларуси развивают Институт микробиологии НАНБ, Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАНБ, в России – Институт микробиологии РАН, ГНЦ Институт прикладной микробиологии и др.

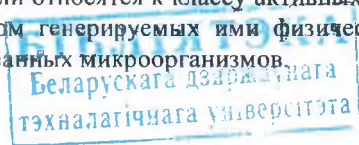
Традиционно специалисты - биотехнологи основное внимание уделяли селекции штаммов иммобилизуемых микроорганизмов-деструкторов, и неоправданно мало – усовершенствованию их носителей. Последние чаще всего выбирали из номенклатуры дешевых технических материалов или минерального сырья. Сейчас стало очевидным, что носитель биомассы – важное звено биофильтрационной системы. Его физико-химические характеристики в значительной мере определяют степень иммобилизации, условия роста, метаболизм микроорганизмов и, следовательно, эффективность и надежность работы биофильтра.

Высокие показатели эффективности биофильтров достигаются при использовании полимерных волокнистых (тканых и нетканых) носителей биомассы. По комплексу технико-экономических параметров они превосходят типовые носители из пористых керамических и углеродных материалов. Удобной технологической основой получения волокнистых полимерных носителей (ВПН) является метод переработки термопластов, называемый в англоязычной литературе melt-blowing (раздувание расплава). Усовершенствование метода melt-blowing позволило в едином технологическом цикле изготавливать и модифицировать ВПН, придавая им дополнительные функциональные свойства (в частности, магнитные и электреты).

Обзор научной литературы за последние годы показал, что модифицирование типовых носителей биомассы, эксплуатируемых в системах биофильтрации, практически не используется. Применение магнитных и электрических полей в биологической очистке промышленных газовых выбросов и сточных вод весьма ограничено. Несмотря на большое количество работ, посвященных изучению влияния физических полей на жизнедеятельность микроорганизмов, методология модифицирования носителей биомассы в электрических и магнитных полях до сих пор не создана.

Комплекс исследований, проведенных в настоящей работе, направлен на решение актуальной научно-технической задачи – разработке нового поколения полимерных носителей биомассы, модифицированных в электрических и/или магнитных полях (МП). Такие носители относятся к классу активных полимерных материалов, которые посредством генерируемых ими физических полей регулируют метаболизм иммобилизованных микроорганизмов.

79206



**Связь работы с крупными научными программами, темами.** Работа выполнялась по заданию ГПФИ «Материал 4.10» (2001-2005 гг. № гос. регистрации – 20013479), а также по контракту с Корейским институтом науки и технологии (KIST) (2001-2002 гг., контракт № KR-A094-1); НИОКР по договору с ООО «Полимер» (2003 – 2004 гг., № гос. регистрации – 20033805); НИР по гранту Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Х04М-177, 2004-2006 гг.).

**Цель и задачи исследования.** Цель исследования состояла в оптимизации технологии изготовления и режимов модифицирования ВПН в электрических и магнитных полях по критериям эффективности носителей с иммобилизованными бактериями рода *Rhodococcus* в системах биофильтрации промышленных сточных вод и газовых выбросов, загрязненных ароматическими углеводородами.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- исследовать механизмы воздействия слабых МП на кинетику биохимических реакций в микроорганизмах;
- установить закономерности влияния электрического и магнитного полей ВПН на показатели метаболизма микроорганизмов;
- разработать методы и оптимизировать технологические режимы модифицирования полимерных волокон физическими полями в процессе изготовления ВПН;
- оптимизировать состав, магнитные и электрические параметры ВПН по критериям биосовместимости;
- изготовить модифицированные ВПН, оценить влияние генерируемых ими магнитных и электрических полей на иммобилизацию микроорганизмов и эффективность работы биофильтров.

**Объекты и предмет исследования.** Объектом исследования являются магнитные и электрические ВПН с иммобилизованными микроорганизмами.

Предмет исследования – технологические процессы изготовления, физико-химические и биологические механизмы функционирования электро- и магнитоактивных ВПН в системах биофильтрации.

**Гипотеза.** ВПН, генерирующие электрические и магнитные поля, оптимальные для бактерий рода *Rhodococcus*, характеризуются улучшенной биосовместимостью и способностью активизировать метаболизм иммобилизованной биопленки, что может повысить эффективность их функционирования в системах биоочистки газовых и водных сред от ароматических ксенобиотиков.

**Методология и методы проведения исследования.** Технологической основой получения ВПН служил метод переработки термопластов фильерной экструзией с пневматическим раздувом и осаждением волокон на формообразующую подложку (метод melt-blowing).

Структуру и свойства ВПН изучали методами оптической и растровой электронной микроскопии, рентгеноспектрального микроанализа. Применяли

стандартные методики измерения магнитных, электрических, физико-механических характеристик полимерных материалов.

Механизмы и параметры функциональной активности ВПН исследовали путем имитационных испытаний (иммобилизация штаммов микроорганизмов, биофильтрация, моделирование биохимических реакций бактерий, смачивание волокнистых образцов водой и др.) с привлечением методов гравиметрии, хроматографии, микробиологического тестирования, а также титриметрического анализа кинетических параметров ферментативных реакций. Экспериментальные результаты обрабатывали методами математической статистики и корреляционного анализа.

#### Научная новизна и значимость полученных результатов.

Предложены оригинальные способы перевода ВПН в электретное состояние и придания им слабой остаточной магнитной индукции в процессе изготовления по технологии melt-blowing, а также целенаправленного модифицирования ВПН химическими соединениями, являющимися источниками питания для микроорганизмов.

Развиты представления о закономерностях влияния постоянных слабых магнитного и электрического полей, генерируемых ферритонаполненными и электретными ВПН, на рост тест-культур микроорганизмов на твердых и в жидких питательных средах. Установлено, что слабое электрическое поле (поверхностная плотность заряда  $\sigma_{\text{эф}} = 3\text{--}7$  нКл/см<sup>2</sup>) интенсифицирует адсорбционную иммобилизацию, улучшает смачивание носителя водой, а МП (остаточная магнитная индукция  $B_r = 0,2\text{--}1,0$  мТл) активно влияет на метаболизм бактерий рода *Rhodococcus*, ускоряя их рост и накопление биомассы, обеспечивая длительное стимулирующее влияние на биопленку.

В модельных экспериментах изучен механизм воздействия слабого постоянного МП, сравнимого по интенсивности с полем магнитных ВПН, на биохимические процессы метаболизма микроорганизмов. Доказано стимулирующее влияние слабого МП ( $B_r = 0,4\text{--}2,0$  мТл) на физиологически значимую реакцию каталитического разложения пероксида водорода под действием фермента каталазы.

Изучено влияние собственных электрического и магнитного полей модельных пленочных и волокнистых электретных и магнитных полимерных образцов на их смачивание водой. Обнаружено, что увеличение  $\sigma_{\text{эф}}$  электретных образцов в пределах  $3\div 7$  нКл/см<sup>2</sup> приводит к улучшению смачивания. В диапазоне значений  $B_r = 0,5\text{--}4,0$  мТл величина краевого угла смачивания находится в прямой линейной зависимости от  $B_r$ .

Установлено, что накопление общей биомассы микроорганизмов, иммобилизованных на магнитных и электретных полипропиленовых (ПП) носителях за период времени 100 ч, в 2,0–2,5 раза выше, по сравнению с немодифицированным ПП носителем, а ускорение процессов биодеструкции ксенобиотиков в электрических и магнитных полях ВПН достигает 2–3 кратного значения. Эф-



фективность очистки загрязненного воздуха и воды от ароматических углеводородов в лабораторных аэробных биофильтрах, загруженных электретными ВПН на основе ПП, составляет 75–99% – для воздуха и 78–98% – для воды, загрязненных соответственно парами толуола и дизельным топливом.

Технологии модифицирования ВПН в электрических и/или магнитных полях и модель содержащего их газового биофильтра защищены тремя патентами РБ.

**Практическая (экономическая, социальная) значимость полученных результатов.** Предложены оригинальные способы получения ВПН на основе ПП, включающие операции электризации и намагничивания волокон. Изготовлены ВПН, предназначенные для работы в системах аэробной биофильтрации промышленных газовых выбросов и сточных вод. По комплексу эксплуатационных и технико-экономических параметров (биосовместимость, химическая стойкость, удельная поверхность, материалоемкость и др.) они превосходят традиционные носители биомассы, применяемые в биофильтрах. Изготовлена опытно-промышленная партия (в количестве 1200 кг) электретного ВПН для загрузки пилотного биофильтра объемом 20 м<sup>3</sup>, работающего в системе очистки химстоков производства диметилтерефталата на заводе органического синтеза ОАО «Могилевхимволокно». Согласно контракту №KR-Λ094-1 между ИММС НАНБ и Корейским институтом науки и технологии (KIST) по созданию систем биофильтрации токсичных сточных вод на промышленных предприятиях Ю. Кореи разработаны ВПН, которые успешно прошли апробацию в системах очистки стоков, загрязненных нефтепродуктами.

Организация производства новых носителей биомассы для аэробных биофильтров в Беларуси позволит решить ряд актуальных задач инженерной экологии. Коммерческая продукция на основе разработанных ВПН может быть предметом экспорта в страны СНГ и зарубежья.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту.**

1. Усовершенствованные способы melt-blowing формирования ВПН, содержащие новые операции обработки газо-полимерного потока коронным разрядом и введения в полимерное связующее магнитно-твердого ферритового наполнителя как источника магнитного поля и компонента, повышающего электретный заряд носителя.
2. Результаты оптимизации зарядового состояния и магнитных параметров ВПН, а также технологических режимов их обработки внешними магнитным и электрическим полями по критерию биосовместимости носителей.
3. Закономерности влияния собственных электретного заряда и МП на смачивание полипропиленовых ВПН водой и адсорбцию бактерий рода *Rhodococcus*.
4. Механизм воздействия слабого МП на кинетику физиологически значимой биохимической реакции разложения пероксида водорода под действием фермента каталазы.

5. Результаты опытно-промышленных испытаний разработанных ВПН в системах биоочистки сточных вод и газовых выбросов, загрязненных ароматическими углеводородами.

**Личный вклад соискателя.** Автор принимал непосредственное участие в подготовке и проведении экспериментов по исследованию влияния постоянных слабых магнитного и электрического полей на метаболизм иммобилизованных микроорганизмов и эксплуатационные характеристики ВПН [1–4]. Участвовал в изготовлении опытных образцов носителей, определении их структурных и физико-химических характеристик. Совместно с коллегами из KIST изучал эффективность фильтрации водных сред, загрязненных ароматическими углеводородами. Самостоятельно поставил эксперимент по исследованию влияния слабого МП на кинетику ферментативной реакции разложения пероксида водорода под действием фермента каталазы [6, 11]. Принимал активное участие в подготовке научных публикаций и заявок на изобретения [1–18].

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты исследований доложены и обсуждены на следующих научно-технических конференциях и симпозиумах: международной научной конференции “Микробиология и биотехнология 21 столетия”, посвященной 100-летию со дня рождения С.А. Самцевича (Минск, 2002 г.); IV международной научной конференции “Полимерные композиты, покрытия, пленки” (Гомель, 2003); III международном конгрессе “Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине” (Россия, Санкт-Петербург 2003); Europe/Africa Regional Meeting “The Polymer Processing Society” (Greece, Athens 2003); 11<sup>th</sup> European Congress on Biotechnology, 25<sup>th</sup> Anniversary of the European Federation of Biotechnology (Switzerland, Basel 2003); International Conference and Exhibition Filtration and Separation Technology “Filtech Europa 2003” (Germany, Düsseldorf 2003); международной научной конференции “Современное состояние и перспективы развития микробиологии и биотехнологии” (Минск, 2004); международной практической конференции “Ауезовские чтения – 4” (Казахстан, Шымкент, 2004); международной конференции и выставке “Композиционные материалы в промышленности” (Ялта, 2005), международной научно-технической конференции “Полимерные композиты и трибология” (Гомель, 2005).

**Опубликованность результатов.** Результаты диссертации опубликованы в 18 работах, в том числе в 4 статьях в научных журналах, 4 статьях в сборниках материалов и 7 тезисах докладов научных конференций, в 3 патентах РБ. Общий объем опубликованных материалов составляет 49 страниц.

**Структура и объем диссертации.** Работа состоит из введения, общей характеристики работы, шести глав, заключения, списка литературных источников и приложения, содержащего документы, подтверждающие конкурентоспособность и практическую значимость полученных результатов. Диссертация изложена на 145 стр., включает 48 рис. (43 стр.), 14 табл. (14 стр.), 3 приложе-

ния (21 стр.), список использованных источников, содержащий 230 наименований (18 стр.).

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проанализированы проблемы инженерной экологии и современные тенденции в технике очистки промышленных газовых выбросов и сточных вод. Обсуждены достоинства биологических методов очистки. Проанализирован опыт применения в качестве носителей биомассы в биофильтрах конструкционных технических материалов. Описаны достоинства носителей на основе полимеров и полимерных композитов.

Обоснован выбор технологии изготовления ВПН и отмечены широкие возможности регулирования волокнистой структуры и физико-химического модифицирования ВПН в процессе melt-blowing путем придания волокнам дополнительных функциональных свойств (магнитных, электретных). Систематизированы литературные данные о биостимулирующем и ингибирующем влиянии магнитных и электрических полей на микроорганизмы. На основании научно-информационного анализа перспектив модифицирования ВПН для улучшения их биосовместимости и повышения эксплуатационных характеристик определены цель и задачи работы.

Во второй главе описаны объекты, средства и методы исследований.

Объектами служили пленочные и волокнистые материалы на основе термопластов – ПП марки CAPLEN® (Moscow Oil Refinery Joint-Stock Company, ТС 2211-015-00203521-99), полиэтилена (ПЭ) высокой плотности (марка 16803-070). Для пластификации и наполнения полимерных материалов использовали диоктилфталат (ДОФ), магнитно-твердый феррит стронция, порошкообразные неорганические соли – сульфат аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и дигидрофосфат калия  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .

Пленочные полимерные материалы изготавливали методами термопрессования на гидравлическом прессе с электрообогреваемыми плитами, ВПН в виде нетканых конструкционных элементов – методом melt-blowing, т.е. фильерной экструзией с пневматическим раздувом и осаждением волокон на формообразующую подложку.

ВПН, наполненные магнетиками, намагничивали до насыщения в импульсных МП с помощью конденсаторной установки УИН-2000. Величины  $B_c$  образцов оценивали с помощью измерителя магнитной индукции Ш1-8.

Термоэлектризацию ПЭ пленок осуществляли путем их выдержки при температуре 80–90 °С и охлаждения в постоянном электрическом поле напряженностью  $E = 10^5 - 10^6$  В/м. Электризация ВПН происходила самопроизвольно в процессе их формирования методом melt-blowing без применения внешних электрических полей. Параметры электрического заряжения волокнистых образцов усиливали с помощью коронного разряда  $E = 10^5 - 10^6$  В/м. Диэлектрические и поляризационные характеристики электретных материалов исследовали по стандартным методикам (ГОСТ 25209-82).



Объемную плотность ( $\rho$ ) ВПН оценивали по результатам обмера и взвешивания образцов по ГОСТ 15139-86, 15.902.2-79. Структурные характеристики ВПН – диаметр волокон ( $d_n$ ), общую пористость ( $P$ , %), характеристический диаметр пор Ферэ ( $d_p$ ) определяли с использованием методов оптической и электронной микроскопии.

Механические свойства ВПН характеризовали разрушающим напряжением при растяжении ( $\sigma_p$ , МПа) и относительным удлинением при разрыве ( $\epsilon_p$ , %), которые определяли с помощью разрывной машины 2038 P-0.05 по ГОСТ 17370-71, 28840-90.

Кинетику растекания жидкостей по поверхности полимерных электретов исследовали методом "сидячей" капли с помощью подключенного к компьютеру микроскопа, снабженного гониометрическим окуляром.

Влияние физических полей магнитопластов и электретов на процессы роста микроорганизмов изучали методом микробиологического тестирования на твердых и в жидких питательных средах, с привлечением метода фотокolorиметрии (ФЭК-56М), кинетику иммобилизации биомассы на ВПН – гравиметрическим методом. Влияние МП магнитопластов на физиологию микроорганизмов исследовали путем моделирования биохимических реакций в постоянном МП соленоида. Использовали титриметрический метод оценки скорости ферментативных реакций.

Работоспособность исследуемых ВПН оценивали на лабораторных установках и пилотных биофильтрах по кинетическим зависимостям снижения в фильтруемых средах (воде, воздухе) концентрации загрязнителей – смеси бензол-толуол-этилбензол-ксилол (БТЭК), дизельного топлива, паров толуола. Концентрацию загрязнителей определяли газохроматографически (хроматограф Hewlett Packard-6890).

Экспериментальные данные обрабатывали методами математической статистики с использованием компьютерной техники и специальных программ.

**Третья глава** посвящена технологическим аспектам формирования и модифицирования ВПН.

Образцы ВПН изготавливали из ПП, исходного и наполненного тонкодисперсным ферритом стронция (5÷20 масс. %, размер частиц 1–2 мкм). Технология формирования и модифицирования ВПН состояла в следующем (рис. 1). Полимерный гранулят перерабатывали с помощью червячного экструдера и продавливали в виде волокон через отверстия фильеры распылительной головки, имеющей оригинальную конструкцию. На выходе из фильеры волокна подхватывались потоками сжатого воздуха, вытягивались и транспортировались в газо-полимерном потоке к формообразующей вращающейся оправке, на которой они оседали и отвердевали в виде волокнистой массы, образуя цилиндрические заготовки, которые разрезали на кольца.

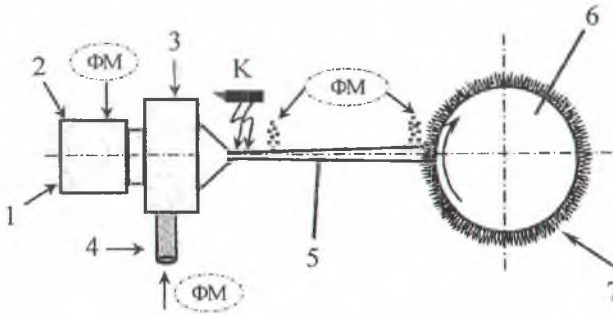


Рис. 1. Схема технологического процесса формирования и модифицирования ВПН. 1 – полимерные гранулы, 2 – экструдер, 3 – распылительная головка, 4 – сжатый воздух, 5 – газополимерный поток, 6 – формообразующая подложка, 7 – волокнистая масса, ФМ – ферромагнетик, К – коронный разряд

ВПН формовали при следующих технологических режимах: частота вращения шнека  $19\text{--}25\text{ мин}^{-1}$ , градиент температуры по зонам экструдера – от  $190$  до  $310\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура экструзионной головки  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ , давление распыляющего воздуха  $100\text{ кПа}$ , расстояние от сопла до формообразующей оправки  $15\text{--}20\text{ см}$ .

Электретный заряд трубчатых полипропиленовых ВПН регулировали, обрабатывая их в поле коронного разряда напряженностью  $1\text{--}2\cdot 10^6\text{ В/м}$  отрицательной или положительной полярности, который создавали с помощью игольчатого коронирующего электрода. Предложено несколько методик создания электретного заряда ВПН в процессе их изготовления (на стадии формирования газо-полимерного потока) и путем электрической обработки готового продукта. Оригинальность первого метода заключается в том, что обработку коронным разрядом осуществляют на стадии диспергирования расплава и вытяжки волокон (рис. 1). Это позволяет создавать в носителях стабильный в водной среде объемный электретный заряд значительной величины. Наполнение ВПН частицами магнитно-твердого феррита позволяет дополнительно повысить величину формируемого в них поляризационного заряда. Оптимальная степень наполнения ПП ферритом для создания максимального электретного заряда ВПН составляет  $15\text{--}17\text{ масс. \%}$ . При дальнейшем увеличении степени наполнения преобладает стекание поляризационного заряда с образцов по цепочкам проводимости, состоящим из частиц феррита. При проведении сравнительных экспериментов технологический электретный заряд снимали с волокон путем выдержки образцов ВПН в парах этанола при  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Задача придания ВПН магнитных свойств решалась путем наполнения полимерного связующего магнитно-твердым ферритом или закрепления его частиц на волокнах, находящихся в вязкотекучем состоянии, с последующей обработкой ВПН в импульсном магнитном поле с помощью конденсаторной установки УИН-2000. Максимальная напряженность МП при разряде конденсатора

составляла 1000-1400 кА/м. Величину  $B_r$  магнитных ВПН задавали в пределах  $0,2 \pm 1$  мТл.

На базе технологии melt-blowing разработан оригинальный способ изготовления ВПН, являющихся источниками биогенных элементов для микроорганизмов.

**Четвертая глава** посвящена оптимизации структурных, физических и физико-химических характеристик ВПН по технико-эксплуатационным критериям. Изучено влияние слабых магнитного и электрического полей, генерируемых электретыми и магнитными ВПН, на кинетику иммобилизации и рост микроорганизмов, а также на показатели работы биофильтров.

Форма, размеры и волокнистая структура ВПН были оптимизированы по комплексу технических требований, предъявляемых к носителям биомассы биофильтров. ВПН формовали в виде трубчатых элементов с внутренним диаметром 40–50 мм, высотой 25–30 мм и толщиной стенки 5–6 мм. Объемную плотность, общую пористость и средний диаметр волокон носителей, оптимизированные по критериям механической прочности и формоустойчивости ВПН, задавали в пределах  $\rho = 200\text{--}280$  кг/м<sup>3</sup>,  $P = 70\text{--}80$  % и  $d_v = 50\text{--}90$  мкм, соответственно.

Исследованы закономерности влияния полей, генерируемых электретыми и магнитными полимерными образцами, на процессы роста микроорганизмов. Экспериментально доказано стимулирующее воздействие слабых МП магнитопластов на биохимические процессы, определяющие метаболическую активность клеток *Rhodococcus*. Под влиянием МП носителей ускоряются фаза логарифмического роста микроорганизмов в жидкой питательной среде и в 1,5-2,0 раза – прирост биомассы, по сравнению с аналогичными немагнитными носителями. Электретный заряд ВПН, благодаря его экранированию слоем воды, оказывает незначительное влияние на рост тест-культуры бактерий (рис 2).

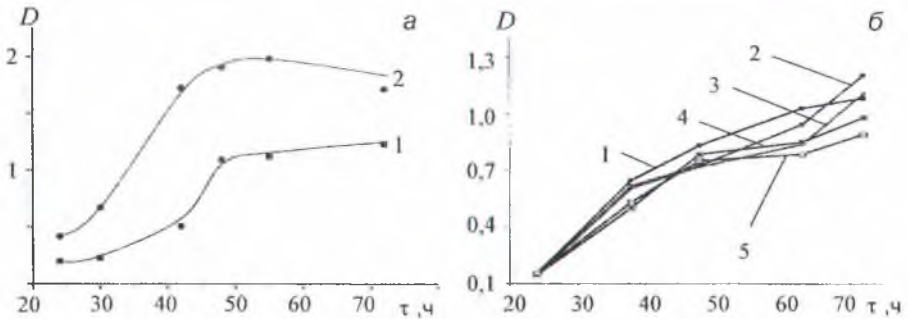


Рис. 2. Влияние полей магнитного (а) и электретных (б) ПЭ пленочных образцов на кинетику роста (изменение оптической плотности суспензий –  $D$ ) бактерий *Rhodococcus oracius* 31 KR в минеральной водной питательной среде: а) 1–контрольный опыт, 2– в присутствии ферритонаполненного образца ( $B_r = 1,7\text{--}2$  мТл); б) в присутствии электретных образцов,  $\sigma_{\text{ф}}$ , нКл/см<sup>2</sup>: 2– +1,3; 3 – +1,9; 4– -2; 5– -2,3.

Сделано предположение, что улучшение показателей сорбции *Rhodococcus* связано с поляризацией бактериальных клеток в электрическом поле носителя, что приводит к усилению адсорбционного взаимодействия поляризованных клеток и заряженных полимерных волокон. Еще в большей степени иммобилизацию микроорганизмов и рост биопленки стимулирует МП ферритосодержащих ВПН ( $B_1 = 0,2-0,6$  мТл). Высказана гипотеза о стимулирующем эффекте слабого МП магнитопластов, которое взаимодействует с содержащимися в клеточных структурах парамагнитными молекулярными мишенями. К последним относятся ферменты, участвующие в жизнеобеспечивающих биохимических реакциях, которые протекают с переносом электрона.

Высокая адсорбционная способность и положительное влияние модифицированных ВПН на метаболизм микроорганизмов - деструкторов дизельного топлива обуславливают быстрое накопление биомассы на электретных и магнитных образцах ВПН и в окружающей их культуральной среде (рис. 3).

Адсорбционное закрепление бактерий на ВПН во многом определяется смачиванием поверхности волокон культуральной жидкостью. Изучено влияние постоянного слабого МП и электретного заряда пленочных, блочных и волокнистых полимерных образцов на их смачивание водой. Установлено, что намагниченные в импульсном МП ферритонаполненные ПЭ образцы смачиваются водой хуже, чем немагнитные - из исходного ПЭ. Краевой угол смачивания ( $\Theta$ ) находится в линейной зависимости от  $B_1$  образцов в диапазоне значений 0,5-4,0 мТл. Увеличение  $\Theta$ , по-видимому, связано с изменением структуры и физических свойств воды в поверхностном слое на границе с магнитным образцом.

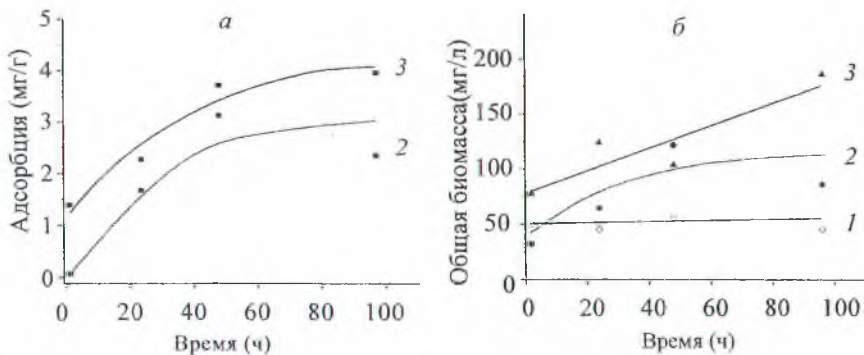


Рис. 3. Кинетические зависимости адсорбционной иммобилизации (а) и накопления общей биомассы (б) сложной ассоциации микроорганизмов - деструкторов дизельного топлива на образцах ВПН. 1 - контроль, 2 - электретные ( $\sigma_{эф} = -7,1$  нКл/см<sup>2</sup>), 3 - магнитные ( $B_1 = 0,2-0,6$  мТл) образцы.



Краевой угол  $\Theta$  уменьшается с ростом  $\sigma_{эф}$  электретных образцов. Наиболее существенное изменение смачивания водой отмечено у электретных образцов, несущих отрицательный поверхностный заряд.

Проведено сравнение разработанных melt-blown ВПН на основе ПП и типовых носителей биомассы, применяемых в промышленных биофильтрах (таблица 1). Видно, что скорость адсорбции микроорганизмов - деструкторов ароматических углеводородов на ВПН, несущих электретный заряд, выше, чем на электронейтральных ленточных и тканых носителях, что позволяет ускорить запуск биофильтров.

Таблица 1

Сравнительные характеристики иммобилизационной способности разработанных и типовых ВПН

Материал носителя (производитель)	Иммобилизация (мг/г) смешанной микробной культуры <i>Rhodococcus opacus 31KR</i> + <i>Rhodococcus ruber2B</i> через		Эффектив- ность очистки химстоков, %
	2 сут	5 сут	
ПП melt-blown ВПН	104,1	144,2	78 – 98
Нити типа «вия» из ПА-6 (Гродно, ПО «Азот»)	92,5	129,8	94 – 96
ПЭТФ ткань (ОАО «Могилевхимволокно»)	99,7	140,9	–

Получены экспериментальные данные, подтверждающие высокую эффективность электретных и магнитных ВПН в процессах биоочистки воздуха и воды, загрязненных ароматическими углеводородами (БГЭК, дизельное топливо, толуол) (рис. 4).

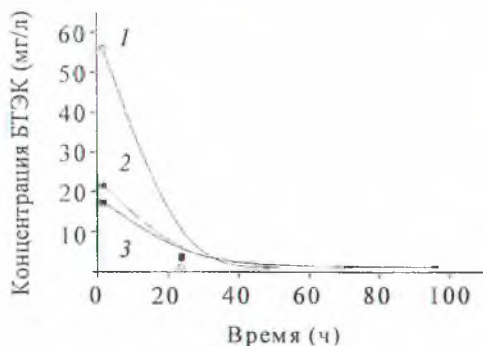


Рис. 4. Кинетика биодеструкции БГЭК в воде (начальная концентрация 100 мг/л) ассоциацией микроорганизмов:

1 – контроль, 2 и 3 – в присутствии электретного ( $\sigma_{эф} = -7,1$  нКл/см<sup>2</sup>) и магнитного ( $B_r = 0,2-0,6$  мТл) образцов ВПН.

По результатам микробиологических и биотехнологических тестов определены электрические и магнитные параметры ВПН, которым соответствуют наивысшие показатели адсорбционной иммобилизации бактерий рода

*Rhodococcus*, смачивания ВПН водой, эффективности биоочистки. Для электретных носителей это  $-\sigma_{\text{эф}} = -3 \div -7$  нКл/см<sup>2</sup>, для магнитных ВПН  $-B_1 = 0,2 \div 1,0$  мТл.

Впервые изготовлены и исследованы электретные melt-blown ВПН, волокна которых являются источником неорганических питательных добавок –  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ . Последние вводили в полимерный гранулят, перерабатываемый в ВПН. Указанные модификаторы, пролонгированно поступающие из полимерной матрицы в поверхностный слой волокон, содержат биогенные элементы, которые ускоряют адсорбцию и стимулируют жизнедеятельность иммобилизованных микроорганизмов.

В пятой главе экспериментально подтверждена изложенная в 4 главе гипотеза о взаимодействии МП с парамагнитными молекулярными мишенями (ферментами), содержащимися в структуре клеток микроорганизмов. Изучено влияние слабого постоянного МП на биохимическую реакцию каталитического разложения пероксида водорода под действием фермента каталазы. Указанная реакция моделирует важный физиологический процесс нейтрализации пероксида водорода в клетках живых организмов, в частности, клетках бактерий.

Слабое постоянное МП ( $B_1 = 0,4 \div 3,0$  мТл) генерировали с помощью соленоида. Источником фермента каталазы служило комнатное растение *Rhoicissus rhomboidea*. Активность фермента определяли через 3 ч после начала реакции перманганатометрическим методом А.Н. Баха и А.И. Опарина в отсутствие ( $A_0$ ) и при воздействии на реакционную систему МП ( $A_1$ ). Эффект действия МП рассчитывали по величине относительной активности фермента  $A$  (%) =  $(A_1 - A_0) \cdot 100 / A_0$ .

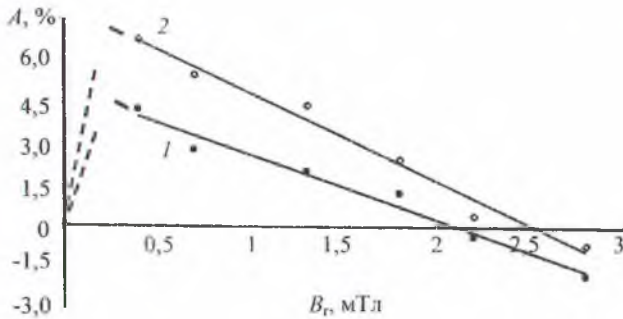


Рис. 5. Зависимости относительной активности ( $A$ ) каталазы зрелых клеток *Rhoicissus rhomboidea* от индукции ( $B_1$ ) воздействующего на реакционную систему МП при температурах 25 °C (1) и 35 °C (2).

На рис. 5 видно, что с ростом  $B_1$  относительная активность каталазы сначала увеличивается, проходит через максимум, а затем уменьшается. Нисходящие участки зависимостей  $A = f(B_1)$  при температурах 25 и 35 °C, аппроксими-

рованы линейными корреляционными уравнениями (коэффициент корреляции  $r = 0,98-0,99$ ):

$$A_{25} = -2,41B_1 + 4,95,$$

$$A_{35} = -3,24B_1 + 8,03.$$

Слабое МП дифференцированно воздействует на молодые и зрелые клетки *Rhoicissus rhomboidea* (рис. 6). Обнаружена синусоидальная зависимость активности каталазы от индукции МП, которая наиболее характерна для молодых клеток (рис. 6 а). Можно предположить, что МП влияет на конкурирующие биохимические реакции, которые интенсивно протекают при определенных значениях напряженности МП. Продукты этих реакций стимулируют или угнетают активность каталазы в исследуемом процессе. В частности, эти продукты могут вступать в конкурентное взаимодействие с ферментом.

Каталаза, выделенная из цитоплазмы зрелых клеток, менее чувствительна к изменению индукции слабого МП (рис. 6 б), однако при  $B_1 > 2$  мТл поле ингибирует биохимическую реакцию разложения пероксида водорода и в молодых, и в зрелых клетках. С повышением температуры на 10 °С относительная активность каталазы возрастает почти в 2 раза, одновременно исчезает экстремальная чувствительность фермента к изменению индукции МП. При  $B_1 \approx 3$  мТл чувствительность каталазы к воздействию температуры становится незначительной.

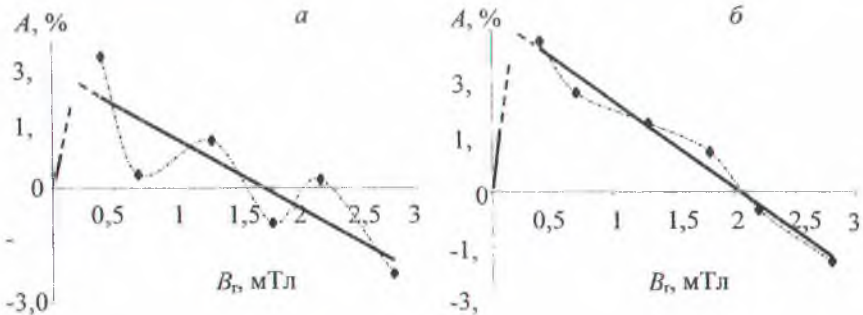


Рис. 6. Зависимости относительной активности каталазы молодых (а) и зрелых (б) клеток *Rhoicissus rhomboidea* от индукции МП при температуре 25 °С

Анализ результатов, приведенных на рис. 5 и 6, приводит к следующим заключениям. МП с индукцией  $B_1 \approx 1,75 \pm 2,0$  мТл практически не влияет на активность каталазы, а более интенсивное МП ( $B_1 > 2,0$  мТл) ингибирует ее. Слабое МП с  $B_1 < 1,75$  мТл приводит к ускорению ферментативной реакции разложения пероксида водорода. При  $B_1 = 0,4$  мТл степень превращения пероксида возрастает на 4,5–6,5 % по сравнению с ферментативной реакцией в отсутствие поля. Точка инверсии активности каталазы при повышении температуры на 10 °С сдвигается в сторону более сильного МП ( $\Delta B_1 \approx 0,5$  мТл).

Теоретически обосновано предположение, что выявленные закономерности влияния МП на активность каталазы, выделенной из клеток растения, справедливы и в отношении микробной каталазы.

**Шестая глава** посвящена опытно-промышленной апробации ВПН в системах очистки газовых выбросов и сточных вод, загрязненных ароматическими углеводородами. Электретные ВПН успешно прошли испытания в Корейском Институте науки и технологии (KIST, г. Сеул) в лабораторных биофильтрах для очистки воздуха от паров толуола (рис. 7). Изготовлена опытная партия магнитных ВПН, с применением которых в KIST произведен запуск пилотного биофильтра.

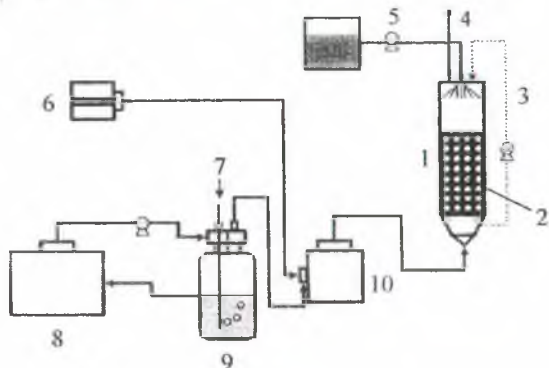


Рис. 7. Схема пилотного биофильтра. 1 – биофильтр, 2 – ВПН ( $\sigma_{эф} = -7,1 \text{ нКл/см}^2$ ), 3 – система циркуляции воды, 4 – выход газа, 5 – система циркуляции минерального раствора, 6 – вентилятор, 7 – воздух, 8 – емкость с толуолом, 9 и 10 испарительная и смешивательная камеры.

Установлено, что иммобилизация микроорганизмов на электретных и магнитных ВПН в 2–3 раза ускоряет процессы биодеструкции ароматических углеводородов (БТЭК, дизельное топливо, толуол) в водной и газовой средах. Это обеспечивает повышенную эффективность работы биореактора в проточном режиме. В частности, в лабораторных аэробных биофильтрах, загруженных электретным ВПН на основе ПП, эффективность биоочистки достигала 75–99 % – для воздуха и 78–98 % – для воды, загрязненных соответственно парами толуола и дизельным топливом.

Размерные, структурные и прочностные характеристики ВПН из трубчатого фильтропласта на основе ПП, несущего технологический электретный заряд, оптимизированы по технико-эксплуатационным критериям. В ООО «Полимер» изготовлена опытно-промышленная партия (1200 кг) носителя, который использован для загрузки пилотного биофильтра объемом  $20 \text{ м}^3$ , входящего в систему очистки химстоков производства диметилтерефталата на заводе органического синтеза ОАО «Могилевхимволокно». Биофильтр успешно запущен и работает с высокой эффективностью, очищая сточные воды от формальдегида, ПТ-эфира, п-ксилола, метилбензоата до ПДК, разрешающих сброс стока в канализацию.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Усовершенствована технология изготовления ВПН на основе ПП и его ферритонаполненных композиций, включающая оригинальные операции физического (электризация) и химического (наполнение волокон веществами - источниками биогенных элементов) модифицирования волокон. Показано, что величину электретного заряда волокон можно регулировать в процессе изготовления ВПН путем обработки газо-полимерного потока коронным разрядом и введения в полимерное связующее ферритовых наполнителей. Оптимальная по технологическим критериям степень наполнения ПП магнитно-твердым ферритом при формировании melt-blown ВПН с максимальными магнитными и электретными параметрами составляет 15–20 масс. %.

Оптимизированы режимы обработки ВПН в электрических и магнитных полях по критериям смачивания водой, адсорбции микроорганизмов и биосовместимости. Это обеспечило высокую адсорбционную емкость (более 140 мг/г) ВПН по отношению к бактериям рода *Rhodococcus* и позволило стимулировать метаболизм иммобилизованной биопленки [1-4, 7-10, 12, 14, 15].

2. Получены новые экспериментальные результаты по регулированию адсорбционной иммобилизации микроорганизмов на ВПН, являющихся источниками физических полей. Установлено, что ВПН с  $\sigma_{эф} = -3 \div -7$  нКл/см<sup>2</sup> и  $B_f = 0,2 \div 1,0$  мТл обладают повышенной совместимостью с микроорганизмами рода *Rhodococcus* и активизируют их метаболизм. Разработаны электретные ВПН нового поколения, содержащие и пролонгированно выделяющие питательные вещества, что улучшает адсорбцию и стимулирует жизнедеятельность иммобилизованных микроорганизмов [1, 3-5, 7, 15].

3. Показано, что с ростом поверхностной плотности заряда уменьшается краевой угол смачивания водой электретных пленочных образцов. Наиболее существенное улучшение смачивания зарегистрировано для электретов, несущих отрицательный поверхностный заряд. Краевой угол смачивания магнитных полимерных образцов находится в прямой линейной зависимости от остаточной магнитной индукции в диапазоне значений  $B_f = 0,5 \div 4$  мТл. Стабильные в водной среде технологический электретный заряд и/или остаточная магнитная индукция волокон улучшают смачивание ВПН водой вследствие электро- или магнитокапиллярного проникновения жидкости в образец [2, 10, 15].

4. Экспериментально показано, что слабое МП носителя создает благоприятные условия для активного роста и размножения *Rhodococcus*, а электретный заряд способствует поляризации и закреплению на носителей клеток бактерий. Механизм активирующего действия слабого МП на бактерии состоит во взаимодействии поля с содержащимися в клеточных структурах микроорганизмов парамагнитными мишенями. К ним относятся ферменты, участвующие в жизне-

обеспечивающих биохимических реакциях, которые протекают с переносом электрона [1-5, 12-14].

5. Исследован механизм влияния слабого постоянного МП на метаболические процессы, происходящие в клетках бактерий. На модельной реакции разложения пероксида водорода под действием фермента каталазы изучены закономерности влияния МП на кинетику этой физиологически значимой биохимической реакции. Установлено, что слабое МП с индукцией менее 1,75 мТл стимулирует активность фермента. С ростом индукции поля происходит инверсия – стимулирующее воздействие сменяется на ингибирующее. Точка инверсии при повышении температуры сдвигается по шкале магнитной индукции в сторону более сильного МП. Обнаружен дозо-эффект МП, который ярче выражен у фермента молодых клеток. Установлено, что при температуре 25 °С реакция разложения пероксида водорода под действием фермента каталазы имеет аномально высокую чувствительность к изменению индукции МП. При повышении температуры на 10 °С обратная зависимость активности фермента каталазы от индукции МП отклоняется от линейной [6, 11].

6. Аэробные струйные и погружные биофильтры, снабженные новыми электретными и магнитными ВПН на основе ПП, прошли испытания при очистке сточных вод и газовых выбросов на пилотных биофильтрах в Ю. Корее. Показано, что эффективность биоочистки воздуха от паров толуола в лабораторных аэробных биофильтрах, загруженных ВПН на основе ПП, достигает 75-99 %, а эффективность очистки воды от дизельного топлива – 78-98 %. Изготовлена опытно-промышленная партия (1200 кг) ВПН для пилотного биофильтра объемом 20 м<sup>3</sup>, работающего в системе очистки химстоков производства диметилтерефталата на заводе органического синтеза ОАО "Могилевхимволокно". Достигнута степень очистки воды от комплекса химических загрязнителей до ПДК, разрешающих сброс стока в канализацию. Защищены патентами способ изготовления электретных ВПН, магнитные ВПН и модель газового биофильтра с электретными ВПН [4, 16-18].

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

## Статьи в журналах

1. Носители биомассы аэробных биофильтров на основе полимерных волокнистых "melt-blown" материалов / А. В. Макаревич, Л. С. Пинчук, М. В. Короткий, А. Г. Кравцов, А. С. Самсонова, З. М. Алещенкова, Y. Lee, S. V. Khvan // Пластические массы. – 2004. – №8. –С.34-38.
2. К вопросу об устойчивости электретенного заряда полимерных волокон в жидких средах / А.Г. Кравцов, С.В. Зотов, А.С. Самсонова, С.В. Хван, М.В. Короткий // Пластические массы. – 2004. – №6. –С.15-19.
3. Короткий М. В., Макаревич. А. В., Пинчук Л. С. Полимерные носители микроорганизмов – источники биогенных элементов // Материаловедение. – 2004. – №11. –С.52-56.
4. Новый тип волокнистых полимерных носителей микроорганизмов для аэробных биофильтров / А.В. Макаревич, Л.С. Пинчук, М.В. Короткий, А.С. Самсонова, З.М. Алещенкова, И. Ли, Б.Р. Лим // Биотехнология. – 2005. – №3. –С.55-64.

## Статьи в сборниках и материалах конференций

5. Волокнистые полимерные носители микроорганизмов для аэробных биофильтров, изготавливаемые пневмоэкструзионным методом / А.В. Макаревич, М.В. Короткий, Л.С. Пинчук, А.Г. Кравцов, А.С. Самсонова, З.М. Алещенкова, Е. Ли, С.В. Хван // Микробиология и биотехнология 21 столетия: Материалы междунар. науч. конф. – Минск: ИМ НАНБ, 2002. –С.244-245.
6. Короткий М.В. Влияние слабого постоянного магнитного поля на активность каталазы // Современное состояние и перспективы развития микробиологии и биотехнологии: Материалы междунар. науч. конф. – Минск: ИМ НАНБ, 2004. – С.206-208.
7. Полимерные носители микроорганизмов для аэробных биофильтров / М.В. Короткий, А.В. Макаревич, Л.С. Пинчук, М.И. Сагаев // Аузовские чтения – 4: Труды междунар. практ. конф., Шымкент, 2004. –С.48-50.
8. Короткий М.В., Макаревич А.В. Применение технологии melt-blowing для изготовления нового поколения волокнистых полимерных носителей микроорганизмов // Композиционные материалы в промышленности: материалы 25-й юбилейной междунар. конф. и выставки. –Ялта: «Наука. Техника. Технология», 2005. –С.77-78.

## Тезисы:

9. Носители биомассы аэробных биофильтров на основе полимерных волокнистых «Melt-blown» материалов / А.В. Макаревич, Л.С. Пинчук, М.В. Короткий, А.С. Самсонова, З. М. Алещенкова, Y. Lee, С.В. Хван // Полимерные композиты – 2003: Тез. докл. IV междунар. науч. конф. – Гомель: ИММС НАНБ, 2003. –С.31-32.

10. К вопросу об устойчивости электретенного заряда полимерных волокон в жидких средах / А.Г. Кравцов, С.В. Зотов, А.С. Самсонова, С.В. Хван, М.В. Короткий // Полимерные композиты – 2003: Тез. докл. IV междунар. науч. конф. – Гомель: ИММС НАНБ, 2003. –С.105-106.
11. Короткий М.В., Макаревич А.В., Господарев Д.А. Влияние слабого постоянного магнитного поля на скорость разложения пероксида водорода под действием фермента – каталазы // Слабые и сверхслабые поля и излучения в медицине и биологии: Тез. докл. III междунар. конгр. – СПб., 2003. –Т.1. – С.52.
12. Fibrous polymer microbial carriers for aerobic biofilters produced by melt-blowing technique / A.V. Makarevich, L.S. Pinchuk, M.V. Korotkiy, A.S. Samsonova, Z.M. Aleschenkova, N.F. Syomochkina, Y. Lee, K. H. Ahn, B. R. Lim, S. A. Khwan // The Polymer Processing Society: Abstr. of Europe-Africa Meeting. – Athens, Greece, 2003. –2 pp.
13. Effect of weak electric and the magnetic fields generated by electret and magnetic polymer microorganism carriers on parameters of water biocleaning from aromatic hydrocarbons / A.V. Makarevich, L.S. Pinchuk, M.V. Korotkiy, A. S. Samsonova, Z.M. Aleschenkova, N.F. Syomochkina, Y. Lee // Abstr. of 11<sup>th</sup> European Congress on Biotechnology. – Basel, Switzerland, 2003. –P.146.
14. Korotkiy M.V., Makarevich A.V. Biomass carriers for aerobic biofilters produced as nonwoven polymeric “melt-blown” materials // Filtech Europa 2003. Filtration and Separation Technology: Abstr. of Int. Conf. –Düsseldorf, Germany, 2003. –1 p.
15. Короткий М.В., Макаревич А.В. Повышение эффективности работы биофильтра путем модифицирования полимерных носителей биомассы в электрических и магнитных полях // Полимерные композиты и трибология – 2005: Тез. докл. междунар. науч.-технич. конф. – Гомель: ИММС НАНБ, 2005. –С.209-210.

#### Патенты:

16. Патент 6928 ВУ, МПК C02F 3/02, 3/08; B01D 39/19. Магнитный носитель биомассы фильтров для биологической очистки сточных вод / Л.С. Пинчук, А.В. Макаревич, А.Г. Кравцов, М.В. Короткий, А.С. Самсонова, З.М. Алешенкова, Юнг-Хун Ли, С.В. Хван. – № а20020103; Заявл. 8.02.2002; Опубл. 30.03.2005 // Афіцыйны бюл. / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2005. – № 1. –С.120-121.
17. Носитель биомассы фильтров для биологической очистки сточных вод и способ его изготовления / Л.С. Пинчук, А.В. Макаревич, А.Г. Кравцов, М.В. Короткий, А.С. Самсонова, З.М. Алешенкова, Юнг-Хун Ли, С.В. Хван. МПК C02F 3/00, B29C 41/08. – Решение на выдачу патента РБ от 24 февраля 2005 г. по заявке № а20020071.
18. Газовый биофильтр / Л.С. Пинчук, А.В. Макаревич, М.В. Короткий, А.С. Самсонова, Ли Юнг-Хун, Кью-Хонг, Ли Ан Джайву. МПК E01D 53/34, 53/85, 47/06, 39/16, B03C 3/28.– Решение на выдачу патента РБ от 11 марта 2005 г. по заявке № а20020297.



**Мадыфікаванне у электрычных і магнітных палях кудзелістых палімерных носьбітаў мікраарганізмаў для аэробных біяфільтраў**

**Ключавыя словы:** фізічнае мадыфікаванне, валакністы палімерны носьбіт (ВПН), магнітнае поле, электрэтны зарад, смачванне, мікраарганізм, імабілізацыя, біячыстка, біяфільтр.

**Об'ект даследавання:** магнітныя і электрэтныя ВПН з імабілізаванымі мікраарганізмамі.

**Прадмет даследавання:** тэхналагічныя працэсы вырабу, фізіка-хімічныя і біялагічныя механізмы функцыянавання электра- і магнітаактыўных ВПН у сістэмах біяфільтравання.

**Мэта работы:** аптымізацыя тэхналогіі вырабу і ражымаў мадыфікавання ВПН у электрычных і магнітных палях па крытэрыях вызначаючых эфектыўнасць працы носьбітаў з імабілізаванымі бактэрыямі роду *Rhodococcus* у сістэмах біяфільтравання прамысловых сцэкаў і газавых выкідаў, забруджаных араматычнымі вуглевадародамі

**Метады даследавання:** аптычная і растрвая электронная мікраскапія, рантгенаспектральны мікрааналіз, гравіметрыя, газавая храматаграфія, титрымедыя, фотакалоріметрыя, метады фізіка-механічных выправабанняў палімерных матэрыялаў, мікрабіялагічнае тэсціраванне.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** прапанаваны арыгінальныя спосабы пераводу ВПН у электрэтны стан і надання ім слабай астаткавай магнітнай індукцыі ў працэсе вырабу па тэхналогіі melt-blowing, а таксама мэтанакіраванага мадыфікавання ВПН хімічнымі рэчывамі, якія з'яўляюцца крыніцамі харчавання для мікраарганізмаў. Развіты ўяўленні аб заканамернасцях уплыву слабых электрычных і магнітных полёў ВПН на імабілізацыю і метабалізм мікробных клетак. Даказан стымулюючы уплыў слабага магнітнага поля на рэакцыю каталітычнага раскладання пераксіда вадароду над дзеяннем фермента каталазы.

**Практычнае прымяненне:** выраблена вопытна-прамысловая партыя (у колькасці 1200 кг) электрэтнага носьбіта для загрузкі пілотнага біяфільтра аб'ёмам 20 м<sup>3</sup>, працуючага ў сістэме вычышчэння хімічных сцэкаў на заводзе арганічнага сінтэзу ОАО «Магілёвхімвалакно». Распрацаваныя ВПН паспяхова прайшлі апрабаванне ў працэсе вычышчэння воздуха і вады, забруджаных араматычнымі вуглевадародамі, на п'ялтых біяфільтрах у Паўднёвым Карэйскім інстытуце навукі і тэхналогіі.

**Вобласць ужывання:** біятэхналогія, тэхналогія перапрацоўкі палімераў.

## РЕЗЮМЕ

Короткий Максим Васильевич

**Модифицирование в электрических и магнитных полях волокнистых полимерных носителей биомассы для аэробных биофильтров**

**Ключевые слова:** физическое модифицирование, волокнистый полимерный носитель (ВПН), магнитное поле, электрретный заряд, смачивание, микроорганизм, иммобилизация, биоочистка, биофильтр.

**Объект исследования:** магнитные и электрретные ВПН с иммобилизованными микроорганизмами.

**Предмет исследования:** технологические процессы изготовления, физико-химические и биологические механизмы функционирования электро- и магнитоактивных ВПН в системах биофильтрации.

**Цель работы:** оптимизация технологии изготовления и режимов модифицирования ВПН в электрических и магнитных полях по критериям эффективности носителей с иммобилизованными бактериями рода *Rhodococcus* в системах биофильтрации промышленных сточных вод и газовых выбросов, загрязненных ароматическими углеводородами.

**Методы исследования:** оптическая и растровая электронная микроскопия, рентгеноспектральный микроанализ, гравиметрия, газовая хроматография, титриметрия, фотоколориметрия, методы физико-механических испытаний полимерных материалов, микробиологическое тестирование.

**Полученные результаты и их новизна:** Предложены оригинальные способы перевода ВПН в электрретное состояние и придания им слабой остаточной магнитной индукции в процессе изготовления по технологии melt-blowing, а также целенаправленного модифицирования ВПН химическими соединениями, являющимися источниками питания для микроорганизмов. Развита представления о закономерностях влияния слабых электрических и магнитных полей ВПН на иммобилизацию и метаболизм бактериальных клеток. Доказано стимулирующее влияние слабого постоянного магнитного поля на реакцию каталитического разложения пероксида водорода под действием фермента каталазы.

**Практическое применение:** изготовлена опытно-промышленная партия (в количестве 1200 кг) электрретного носителя для загрузки пилотного биофильтра объемом 20 м<sup>3</sup>, работающего в системе очистки химстоков на заводе органического синтеза ОАО «Могилевхимволокно». Разработанные ВПН успешно прошли апробацию в процессе очистки воздуха и воды, загрязненных ароматическими углеводородами, на пилотных биофильтрах в Ю. Корейском институте науки и технологии.

**Область применения:** биотехнология, технология переработки полимеров.

## ABSTRACT

Korotkiy Maksim Vasilievich

**Modification of fibrous polymer biomass carriers  
in electric and magnetic fields for aerobic biofilters**

**Keywords:** physical modification, fibrous polymer carrier (FPC), magnetic field, electret charge, wetting, microorganism, immobilization, biological purification, biofilter.

**Object of investigation:** the magnetic and electret FPC with immobilized microorganisms.

**Subject of investigation:** the manufacturing technique, physicochemical and biological functioning mechanisms of electro- and magnetoactive FPC in biofiltration systems.

**Aim of the work:** optimization of manufacturing technique and modification regimes of FPC in electric and magnetic fields by the criteria ensuring effectiveness of the carrier with immobilized *Rhodococcus* in biofiltration systems of industrial sewage and gas emissions polluted by aromatic hydrocarbons.

**Methods of investigation:** optical and electron microscopy, X-ray spectrometry, gravimetry, gas chromatography, titrimetric analysis, photocalorimetry, physical and mechanical tests of polymer materials, microbiological testing.

**Results and their novelty:** original methods of FPC transforming into electret state and imparting them weak magnetic induction during manufacturing by melt-blowing technique, and purposeful modification of FPC by the chemical agents which are sources of feed for microorganisms have been offered. The regularities of FPC weak electric and magnetic fields influence on microorganism immobilization and metabolism have been developed. A stimulating effect of the weak permanent magnetic field on the catalytic decomposition reaction of hydrogen peroxide by the catalase enzyme has been proved.

**Practical application:** an industrial batch (1200 kg) of the electret carrier was manufactured for a pilot biofilter with capacity 20 m<sup>3</sup>, working in the purification system of chemical sewage at the organic syntheses factory of J.S.Co. "Mogilevhimvolokno". The developed FPC have successfully passed approbation in treating sewage and gas emission polluted by aromatic hydrocarbons using a pilot biofilter at Korea Institute of Science and Technology.

**Field of application:** biotechnology, plastics technology.

Научное издание

*КОРОТКИЙ Максим Васильевич*

**Модифицирование в электрических и магнитных полях волокнистых полимерных носителей биомассы для аэробных биофильтров**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать 11.11.2005 г. Формат 60 x 84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная № 1.  
Печать на ризографе. Усл. печ. л. 1,39. Тираж 100 экз. Зак. 2388.

Типография УО «БелГУТ», 246022, г. Гомель, ул. Кирова, 34.  
Лицензия № 02330/0148780 от 30.04.2004 г.